

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

**MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN TEKNINEN KEHITYS
1990-LUVULTA NYKYPÄIVÄÄN**

Kandidaatintutkielma

Kadetti
Elisa Vilhunen

97. Kadettikurssi

Ilmasotalinja

Maaliskuu 2013

MAANPUOLUSTUSKORKEAKOULU

Kurssi 97. Kadettikurssi	Linja Ilmasotalinja
Tekijä Kadetti Elisa Linnea Vilhunen	
Tutkielman nimi Miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehitys 1990-luvulta nykypäivään	
Oppiaine johon työ liittyy Tekniikka	Säilytyspaikka Kurssikirjasto (MPKK:n kirjasto)
Aika Maaliskuu 2013	Tekstisivuja 28 Liitesivuja 2
TIIVISTELMÄ <p>Tutkielman päätutkimuskysymys on, miten miehittämättömät ilma-alukset ovat teknisesti kehittyneet 1990-luvulta nykypäivään. Työssä keskitytään Yhdysvaltain asevoimien käyttämiin miehittämättömiin ilma-aluksiin, koska Yhdysvallat ovat edelläkävijä niiden kehittämisessä ja valmistamisessa. Tutkittavat miehittämättömät ilma-alukset ovat Pioneer, Predator, Hunter, Global Hawk ja Shadow. Tutkielman alatutkimuskysymykset ovat, mitä teknisiä muutoksia eri miehittämättömien ilma-alusten versioiden välillä on tapahtunut ja miten miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehitys on vaikuttanut niiden suorituskykyyn.</p> <p>Tutkimusmenetelmänä työssä käytetään laadullista aineistoanalyysia eli kirjallisuustutkimusta. Lähdeaineistona hyödynnetään kirjallisuutta, vanhoja tutkielmia, lehtiä, julkaisuja sekä internetlähteitä, mitkä liittyvät miehittämättömiin ilma-aluksiin. Tutkimukseen käytetty materiaali on suurimmaksi osaksi sähköisessä muodossa, koska aihe on niin tuore ja kehittyä edelleen.</p> <p>Tutkielman tuloksena voidaan havaita, että miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehitys on ollut nopeaa viime vuosien aikana ja jatkuu edelleen. Niihin on tehty paljon rakenteellisia muutoksia sekä koneiden runkoihin on tuotu uudempiä ja tehokkaampia sensorijärjestelmiä. Myös aseistusta on kehitetty osassa koneista. Teknisellä kehityksellä on ollut vaikutusta miehittämättömien ilma-alusten suorituskykyyn etenkin taisteluun tarkoitetuilla koneilla. Melkein kaikissa miehittämättömissä ilma-aluksissa on kyetty kasvattamaan koneen maksiminopeutta ja toimintakorkeutta. Muutoksia on myös tapahtunut joidenkin koneiden toiminta-ajassa.</p> <p>Johtopäätöksenä voidaan todeta, että suurimmat teknisen kehityksen kohteet miehittämättömissä ilma-aluksissa ovat olleet rakenteellisten muutosten ansiosta uusien sensorijärjestelmien tuonti koneisiin sekä niiden aseistaminen. Tekninen kehitys jatkuu edelleen miehittämättömissä ilma-aluksissa ja niillä pyritään yhä enemmän korvaamaan miehitettyjä ilma-aluksia ja niiden tehtäviä. Tällä voidaan välttää inhimillisiä virheitä sekä käyttää ilma-aluksia yhä vaarallisemmissa tehtävissä.</p>	
AVAINSANAT Miehittämätön ilma-alus, UAV, tekninen kehitys, suorituskyky	

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN TEKNINEN KEHITYS 1990-LUVULTA NYKYPÄIVÄÄN

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta, rakenne ja päämäärä	2
1.2	Tutkimuskysymykset ja rajaukset	3
1.3	Tutkimusmenetelmä.....	4
2	MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN ERI VERSIOIDEN VÄLILLÄ TAPAHTUNEET TEKNISET MUUTOKSET.....	5
2.1	Taktisen tason Pioneer RQ-2A/B/C-versiot.....	5
2.2	Operatiivisen tason Predator RQ-1A/B-, MQ-1B- ja MQ-9-versiot.....	8
2.3	Taktisen tason Hunter RQ-5A-, MQ-5B/C- ja II-versiot	11
2.4	Strategisen tason Global Hawk RQ-4A/B-versiot	14
2.5	Taktisen tason Shadow 200 RQ-7A/B-versiot sekä Shadow 400 ja 600	18
3	TEKNISEN KEHITYKSEN VAIKUTUKSET SUORITUSKYKYYN	21
3.1	Maksiminopeus	21
3.2	Toimintakorkeus	23
3.3	Toiminta-aika	24
3.4	Suorituskyvyn muutokset.....	26
4	PÄÄTELMÄT	27

LÄHTEET

LIITTEET

MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN TEKNINEN KEHITYS 1990-LUVULTA NYKYPÄIVÄÄN

1 JOHDANTO

Miehittämättömällä ilma-aluksella tarkoitetaan moottoroitua lentokonetta, joka ei kuljeta mukanaan ohjaajaa ja siitä käytetään lyhennettä UAV, joka tulee englanninkielisistä sanoista Unmanned Aerial Vehicle. UAV kykenee lentämään joko täysin itsenäisesti tai ihmisen kauko-ohjaamana, sekä kantamaan mukanaan aseistusta tai muuta hyötykuormaa. UAV:issä taistelulataus ei kuitenkaan ole kiinteä osa ilma-alusta. Tämä erottaa miehittämättömän ilma-aluksen ballistisista ilma-aluksista, joita ovat muun muassa ammuksiset ja ohjukset. [14, s. 374]

Kauko-ohjattavien lentokoneiden juuret lähtevät 1800-luvulta, jolloin pyrittiin kehittämään lentokonetta, joka kykenisi kuljettamaan ihmisiä. Kehiteltäessä ihmistä kuljettavaa lentokonetta rakennettiin malliksi pieniä lennokkeja, jotka ovat ensimmäisiä versioita miehittämättömistä ilma-aluksista. 1900-luvulla Wilbur ja Orville Wright kykenivät rakentamaan ihmistä kantavan moottoroidun lentokoneen, joka syrjäytti lennokkien kehityksen, ja lennokit miellettiin enemmän leluiksi. Toinen syy lennokkien kehityksen pysähtymiseen oli teknologia, joka on miehittämättömissä ilma-aluksissa paljon vaativampaa, kuin miehitetyissä ilma-aluksissa. Miehittämättömien ilma-alusten tulevaisuuteen vaikutti kehitys, joka tapahtui moottoreissa ja radio-ohjausjärjestelmissä. [27, s. 9]

Vielä 2000-luvulle asti miehittämättömien ilma-alusten rooli ja käyttö armeijan tarkoituksiin oli toissijaista. Käänteentekijänä oli maailmanlaajuinen sota terrorismia vastaan, jolloin UAV:n rooli ei muuttunut pelkästään tärkeäksi, vaan elintärkeäksi. Suurin muutos kehityksen kannalta tapahtui vuonna 2001, kun miehittämättömiä ilma-aluksia ryhdyttiin aseistamaan ja käyttämään taisteluissa. Vuosikymmenen vaihteen jälkeen UAV:iden kehitys on ollut jatkuvaa. [27, s. 5]

Miehittämättömillä ilma-aluksilla on pyritty korvaamaan miehitetyille koneille kuuluneita tehtäviä, jotta lentäjiä ei saatettaisi hengenvaraan. Miehittämättömät ilma-alukset kykenevät teknisten ominaisuuksien ansioista toimimaan vielä senkin jälkeen, kun lentäjän fysiologiset rajat tulevat vastaan. Huomioitaessa lentäjien koulutus ja määrä, ei lentäjä ole ainoastaan heikoin, mutta myös arvokkain osa miehitettyä ilma-alusta. Niinpä miehittämättömät ilma-alukset sopivat Yhdysvaltojen puolustusministeriön mukaan miehitettyjä koneita paremmin 3-D tehtäviin: pitkäveteisiin, likaisiin ja vaarallisiin tehtäviin (Dull, Dirty or Dangerous). [16, s. 1]

1.1 Tutkimuksen tausta, rakenne ja päämäärä

Miehittämättömistä ilma-aluksista on aiemmin tehty opinnäytteitä, esimerkiksi Jari Kanasen pro gradu -tutkielma vuodelta 2007 *Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys ja käyttö viimeaikaisissa sodissa*. Pro gradu -työssä on esitelty ja tutkittu Yhdysvaltain asevoimilla olevien miehittämättömien ilma-alusten kehitystä ja niiden käyttöä sodan ajan ympäristössä. Tässä tutkimuksessa selvitetään tarkemmin, miten miehittämättömät ilma-alukset ja niiden eri versiot ovat teknisesti kehittyneet 90-luvulta nykypäivään. Muita tähän työhön liittyviä tutkielmia ovat muun muassa Sami Puuperän tutkielma *Miehittämätön taisteluilma-alus UCAV, teknologiakatsaus* sekä Jussi Jääskeläisen kandidaatintutkielma *Alussijoitteinen, miehittämätön ilma-alus*.

Aihe on todella ajankohtainen ja mielenkiintoinen, koska kehitys on ollut hyvin nopeaa ja tehokasta lähivuosikymmenien aikana. UAV:iden kehitys jatkuu edelleen ja siihen panostetaan paljon rahallisesti niin kuin myös ajallisesti. Kehityksen myötä miehittämättömillä ilma-aluksilla on pyritty korvaamaan ja suorittamaan miehitettyjen ilma-alusten tehtäviä.

Tutkimuksen toisessa luvussa esitellään eri UAV:itä ja niiden eri versioita. Luvussa kerrotaan UAV:iden taustoja, teknisiä tietoja sekä esitellään niiden kehittyneitä teknisiä ominaisuuksia eri versioiden välillä. Kolmannessa luvussa katsotaan, miten UAV:iden eri versioiden välillä tapahtunut tekninen kehitys on vaikuttanut niiden suorituskykyyn. Suorituskykyä kuvaamaan on valittu kolme erillistä lentoarvoa, joiden avulla analysoidaan UAV:iden suorituskykymuutosta. Neljänteen lukuun on koottu yhteen työn päätelmät, jossa vastataan tutkielman päätutkimuskysymykseen. Työn päämääränä on selvittää, miten eri miehittämättömät ilma-alukset ovat teknisesti kehittyneet 1990-luvulta nykypäivään, ja miten tekninen kehitys on vaikuttanut UAV:iden suorituskykyyn. Tutkimuksen liitteeseen 1 on kerätty työssä käytetyt lyhenteet ja niiden merkitykset.

1.2 Tutkimuskysymykset ja rajaukset

Miehitettyjen hävittäjien poistumista ja niiden korvaamista miehittämättömillä ilma-aluksilla voidaan nykyään pitää varteenotettavana vaihtoehtona. Nykyisillä elektroniikan ja tietotekniikan ominaisuuksilla tekniset mahdollisuudet sellaiseen ovat hyvinkin realistiset. Suunnittelu-kaudella on näköpiirissä, että miehittämättömien ilma-alusten ja risteilyohjusten ominaisuudet lähestyvät toisiaan. [14, s. 303]

Edellä mainittuihin faktoihin perustuen tutkielman päätutkimuskysymys on, miten miehittämättömät ilma-alukset ovat teknisesti kehittyneet 1990-luvulta nykypäivään. Kysymys tukee hyvin tutkielman aihetta ja sen avulla saadaan tietoa miehittämättömien ilma-alusten teknisistä muutoksista. Kysymyksen avulla voidaan myös nähdä UAV:iden tämän hetkiset tekniset ominaisuudet ja niiden mahdollisuudet korvata miehitettyjä ilma-aluksia. Päätutkimuskysymystä tukemaan valittiin kaksi alatutkimuskysymystä, joiden avulla pystytään tuomaan lisää tietoa ja luomaan pohja päätutkimuskysymykselle. Ensimmäisenä alatutkimuskysymyksenä on, mitä teknisiä muutoksia eri miehittämättömien ilma-alusten versioiden välillä on tapahtunut. Toisena alakysymyksenä on, miten miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehitys on vaikuttanut niiden suorituskykyyn.

Yhdysvallat on edelläkävijä miehittämättömien ilma-alusten kehityksessä ja käytössä jo 1990-luvulta asti. Maalla on niin operatiivisen, strategisen kuin taktisen tason UAV:itä. Strategisen tason UAV:t ovat pääsääntöisesti tiedusteluun ja valvontaan käytettäviä miehittämättömiä ilma-aluksia, kun taas operatiivisen ja taktisen tason UAV:itä on kehitetty tiedustelu- ja valvontatehtävien lisäksi taisteluilma-aluksiksi. [16, s. 9, 15–24]

Edellä esitettyjen faktojen takia tutkielman tarkastelun kohteeksi valitaan juuri Yhdysvaltalaisia miehittämättömiä ilma-aluksia. Tarkempi rajausta tehdään maan viiteen eri miehittämättömään ilma-alukseen. Nämä UAV:t ovat Pioneer, Predator, Hunter, Global Hawk ja Shadow. Tutkielmaan valittiin juuri nämä UAV:t, koska ne ovat eri käyttötarkoituksiin suunniteltuja miehittämättömiä ilma-aluksia. Pioneer ja Shadow ovat taktisen tason tiedusteluun ja valvontaan tarkoitettuja UAV:itä, kun taas Global Hawk on tarkoitettu strategisen tason tiedusteluun ja valvontaan. Hunter on puolestaan kehitetty taktisen tason taistelu UAV:ksi ja Predator operatiivisen tason taistelu UAV:ksi. Tarkasteltaessa näitä miehittämättömiä ilma-aluksia voidaan nähdä, miten tekninen kehitys on edennyt eri käyttötarkoituksiin suunnatuissa UAV:issä.

Luvun kaksi ulkopuolelle rajataan lentoarvot maksiminopeus, toiminta-aika ja toimintakorkeus. Nämä käsitellään erikseen luvussa kolme, jossa näiden kolmen eri lentoarvon avulla havainnollistetaan, miten UAV:iden suorituskyky on muuttunut teknisen kehityksen myötä. Suorituskyvyn muutosta katsotaan vain lentoarvojen kannalta. Luvussa kolme ei siis käsitellä esimerkiksi, miten UAV:iden tiedustelu- ja valvontatiedon hankinta ja välittäminen ovat parantuneet uusien sensorijärjestelmien ansiosta.

1.3 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusmenetelmänä työssä käytetään laadullista eli kvalitatiivista aineistoanalyysiä eli kirjallisuustutkimusta. Kirjallisuustutkimuksessa tutkimustyön pohjana käytetään aikaisemmin tuotettua tietoa, jota etsimään eri lähteistä ja analysoidaan tarpeen mukaan. [17, s. 42] Lähdeaineistona tässä tutkimustyössä käytetään kirjallisuutta, vanhoja tutkielmia, julkaisuja, artikkeleita sekä internetlähteitä, mitkä liittyvät miehittämättömiin ilma-aluksiin. Kerätyn aineiston pohjalta selvitetään valittujen miehittämättömien ilma-alusten tekninen kehittyminen 90-luvulta nykypäivään ja niiden vaikutus miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien suorituskykyyn. Työssä tuodaan esille teknisen kehityksen vaikutukset suorituskykyyn numeroarvoin, joka helpottaa niiden ymmärtämistä.

Päälähteenä tutkielmassa käytetään sähköistä Jane's tietokantaa. Lähdemateriaali painottuu pääasiassa sähköisiin lähteisiin, koska aihe on niin uusi ja kehittyä edelleen. Tämän takia on hankalaa löytää tämänhetkisiä teknisiä tietoja UAV:iden rakenteesta ja kehityksestä. On myös muistettava kritiikki eri lähteiden ilmoittamiin UAV:iden teknisiin tietoihin ja numeroarvoihin, jotka saattavat poiketa toisistaan. Tämä huomioidaan vertaamalla teknisiä tietoja ja numeroarvoja useiden eri lähteiden välillä. Lisähaasteen tutkielmaan tuo lähdemateriaalin englanninkielisyys.

2 MIEHITTÄMÄTTÖMIEN ILMA-ALUSTEN ERI VERSIOIDEN VÄLILLÄ TAPAHTUNEET TEKNISET MUUTOKSET

Yhdysvaltojen miehittämättömien ilma-alusten kehitys on lähtöisin 1980-luvun puolivälistä Pioneer ilma-aluksesta. 1990-luvun jälkeen kehitys jatkui edelleen ja mukaan tulivat Predator, Hunter, Global Hawk ja Shadow ilma-alukset. Joidenkin näiden UAV:iden kehitys on edelleen käynnissä ja on suunniteltu jatkuvan vuosia eteenpäin. [14, s. 377]

2.1 Taktisen tason Pioneer RQ-2A/B/C-versiot

RQ-2 Pioneer on Yhdysvaltojen AAI yhtiön ja Israelin IAI:n (Israel Aircraft Industries) valmistama taktisentason UAV, joka on ensimmäinen Yhdysvaltojen moderni UAV. Yhdysvaltain laivasto osti ensimmäisen AAI-IAI Pioneerin vuonna 1985 Israelilta, koska se oli vakuutunut UAV:n toimintaan Libanonin sodassa vuonna 1982. Seitsemäs tammikuuta 1986 tehdystä sopimuksessa hankittiin kolme UAV-järjestelmää ja 21 ilma-alusta, joista kaksi järjestelmää meni Yhdysvaltain laivastolle ja yksi merivoimille. UAV-järjestelmällä annetaan miehittämättömälle ilma-alukselle tarvittavat tukevat toiminnot tehtävien suorittamiseen ja siihen kuuluvat muun muassa maa-asema, josta ohjataan UAV:tä, datalinkki, jolla välitetään tietoa UAV:n ja maa-aseman välillä sekä muut tukemiseen tarvittavat välineet. [1; 7, s. 203]

Yhdysvaltojen ja Israelin tekemään sopimukseen kuului myös optio kahdesta lisäjärjestelmästä vuonna 1987 sekä neljästä vuonna 1988. Pioneer oli tarkoitettu valvomaan tehtäväkohtaista taistelualusta sekä tuomaan tietoa maalla oleville merijoukoille. Se lensi sekä taistelualuksilta että amfibioaluksilta ja laskeutui yleensä verkkoon. Pioneer lensi jopa yli 300 sotalentoa Persianlahden sodassa vuonna 1991. Pioneerin ongelmana oli kuitenkin elektromagneettinen häirintä laivoihin, joissa se oli sijoitettuna. [7, s. 203]

Kuvassa 1 on Yhdysvaltain laivaston Pioneer lennolla. Rakenteeltaan RQ-2 Pioneer on olkasiipinen yksitasokone, jossa on kaksirunkoinen korkeusperäsin ja se on varusteltu työntömoottorilla. Siinä on kiinteä kolmipyöräinen laskuteline sekä kaapelikoukku. Siivet sekä korkeusperäsin voidaan irrottaa rungosta, mikä helpottaa UAV:n kuljettamista ja kokoopanoa sekä purkua kentällä. Alkuperäinen runko on lähes kokonaan lasikuitua. Peräsin on kevlarin ja lasikuidun seosta ja siivissä on ollut kangasverhoilu. [1]



Kuva 1. Yhdysvaltain laivaston RQ-2B Pioneer [23]

Pioneerin laukaisu voidaan suorittaa, joko omatoimisesti rullaamalla ilmaan, kaksikiskoisella pneumaattisella katapultilla tai rakettilaukaisulla. Merellä ollessa laukaisuun käytetään raketteja. Laskeutuminen Pioneerillä tapahtuu joko omatoimisesti laskutelineille, jolloin koneen takaosassa oleva kaapelikoukku osuu pysäytyskaapeliin, mikä pysäyttää koneen vauhdin. Toinen vaihtoehto on lentää pysäytysverkkoon. [1]

Nykyisenä hyötykuormana Pioneerilla on päiväkuvaukseen tarkoitettu IAI:n Tamam gyrostaabilisoitu korkearesoluutioinen TV-kamera tai FLIR (Forward Looking Infrared) -sensori, sekä vuonna 1997 asennettu L-3 Wescam 12DS200 -kaksoissensoripaketti, joka on tarkoitettu päivä- ja yökäyttöön tai operoitaessa huonossa näkyvyydessä. Pioneer on myös varusteltu transponderilla ja siihen voidaan asentaa laserosoitin. Hyötykuormakotelo sijaitsee keskellä runkoa, josta saadaan 500 W teho 28 V tasavirtajännitteellä hyötykuorman käyttöön. Pioneer on kuitenkin näiden lisäksi testilentänyt ainakin 15 muuta hyötykuormaa eri valmistajilta, kuten meteorologi-, miinanetsintä-, kommunikointi- sekä radioaktiivisentason havaitsevia sensoreita. [1]

Pioneer oli alussa varusteltu analogisella autopilotilla, missä oli navigointilaitteisto sekä kaksisuuntainen datalinkki. Tämä mahdollisti Pioneerin lentotehtävän etukäteen ohjelmoinnin, mutta sitä voitiin myös kauko-ohjata manuaalisesti. Pioneerin valvonta ja kontrollointi suoritetaan IAI GCS-2000 valvonta-asemalta tai tehtävän suunnittelu- ja ohjausasemalta. Tehtävän suunnittelu- ja ohjausaseman tietojärjestelmä päivityksen ansiosta, sillä voidaan nykyään ohjata myös muita miehittämättömiä ilma-aluksia. Autopilotti ja mekaaninen gyro korvattiin vuonna 1997 digitaalisella järjestelmällä. Valvonta-asema koostuu kolmesta elektronisesta asemasta: ohjaaja-, tähystäjä- ja seuranta-asemasta. Tämä valvonta-asema on miehitetty kahdella henkilöllä. [1]

Maassa olevaan valvonta-asemaan voidaan myös kytkeä optisella kuitukaapelilla miehittämättömän kommunikoinnin valvontayksikkö, joka on sijoitettu omaan S-250 suojaan. Tämä yksikkö on varusteltu häirintäsuojatulla C-taajuuden taktisella datalinkillä ja se voidaan sijoittaa 1 000 m:n päähän valvonta-asemasta. [1]

Koko Pioneer-järjestelmä koostuu viidestä ilma-aluksesta, yhdeksästä hyötykuormasta, yhdestä maassa olevasta valvonta-asemasta tai tehtävän suunnittelu- ja ohjausasemasta, yhdestä kommunikoinnin valvontayksiköstä, pneumaattisesta tai rakettivälineisestä laukaisuasemasta, komento- ja datalinkistä, kiitotiestä sekä laivan kannella käytettävästä pysäytin kaapelista tai verkosta ja muusta tukevasta kalustosta. [1]

Pioneer RQ-2 A-, B- ja C-versioiden tekniset tiedot ovat taulukossa 1. A-versio on ensimmäinen tuotantoon tullut UAV Pioneerista. Siihen on asennettu 26 hevosvoiman Sachs SF2-350 kaksisylinterinen kaksitahtimoottori sekä kaksilapainen työntöpotkuri. B-versioon, joka tuli valmistukseen vuonna 1997 on varusteltu uudemmalla MIAG-avioniikalla sekä Wescam 12DS TV- ja lämpökamera -sensoripaketilla. Laskeutuminen voidaan suorittaa uudella automaattisella UCARS (UAV Common Automatic Recovery System) -järjestelmällä. Siihen on myös vaihdettu siipien ja rungon rakennusmateriaali lasikuitu ja kangasmateriaalista kokonaan komposiittirakenteeksi sekä peräsin on suunniteltu uudelleen. [1]

Taulukko 1. RQ-2 Pioneerin tekniset tiedot [1]

	RQ-2A	RQ-2B	RQ-2C
Pituus (m)	4,26	4,26	4,26
Siipien kärkiväli (m)	5,11	5,11	5,11
Polttoainekapasiteetti (kg)	29,9	29,9	32,7
Lentoonlähöpaino (kg)	190	190	205
Moottori (hv)	26	26	38
Hyötykuorma (kg)	45,5	45,5	45,5
Aseistus	ei	ei	ei
TV- ja lämpökamera	vain TV-kamera	on	on
SAR-tutka	ei	ei	ei
Laserosoitin	ei	ei	on
MTI	ei	ei	ei
FLIR	optio	optio	on

RQ-2C-versioon on puolestaan vaihdettu uusi AR 741 -moottori, joka tuottaa 12 hevosvoimaa enemmän tehoa, kuin A- ja B-versioissa olevat moottorit. Sen siipien keskiosa on asennettu varapolttoainetankki, jonka ansiosta koneen polttoainekapasiteetti on kasvanut 2,8 kg. TV- ja lämpökamerasensoripaketti on vaihdettu IAI Tamam POP-300 (Plug-In Optronic Payload) -sensoripakettiin sekä lisätty laserosoitin. Laukaisuasemaa ja kuljetuskalustoa on myös uusittu. C-versiossa on kuitenkin sama MIAG-avioniikka ja automaattinen UCARS laskeutumisjärjestelmä kuin B-versiossa. Koneen rakenteellisia mittoja, kuten pituutta ja siipien kärkiväliä ei ole muutettu. [1]

2.2 Operatiivisen tason Predator RQ-1A/B-, MQ-1B- ja MQ-9-versiot

Operatiiviseen käyttöön tarkoitettu Predatorin kehittäminen alkoi tammikuussa 1994 ACTD (Advanced Concept Technology Demonstration) -ohjelmalla General Atomicsin toimesta. Ensimmäisen koelentonsa Predator lensi kesällä 1994, mutta käyttöön se otettiin vasta vuonna 1995. Predator-kokonaisuus muodostuu kolmesta eri komponentista: ilma-aluksesta ja sen sensoreista ja kommunikaatiolaitteistosta, maa-asemasta sekä jakelulaitteistosta, johon sisältyy satelliittilinkki. Yksi predator-järjestelmä sisältää neljä ilma-alusta. [10]

Muodoltaan Predator on matalasiipinen ja hoikkarunkoinen UAV, kuten kuvasta 2 voidaan nähdä. Sillä on suuri sivusuhte ja V-muotoinen korkeusperäsin, joka on asennettu runkoon väärinpäin. Käänteisen V-muotoisen korkeusperäsimen ansiosta siipien aiheuttamat pyörteet eivät kohdistu korkeusperäsimen. Predatorin etuina ovat hyvä aerodynaaminen ulkomuoto sekä tietokoneella kehitetty siipi, jonka pinnalla menevällä ilmavirtauksella on pieni Reynoldsin luku. Materiaaliltaan kone on hiilikuitua, joka antaa todella kestävä, mutta kevyen rakenteen. UAV:ssä on sisäänvedettävä kolmipyöräinen laskuteline, joka vähentää koneen kokonaisvastusta. Predatorilla lentoonlähtö ja lasku tapahtuvat normaalisti laskutelineille rullamalla. [13]



Kuva 2. RQ-1 Predator lennolla [3]

Predator on varusteltu Rotaxin 914 nelisylinterisellä turboahdetulla moottorilla, joka tuottaa 105 hevosvoimaa. RQ-1 Predatorin hyötykuormana on L-3 Wescam 14TS -sensoripaketti, joka sijaitsee Predatorin ”leuan alla” ja sisältää TV- ja pysäytyskuvakameran. Tämän lisäksi RQ-1-versiossa on Northrop Grummanin TESAR (Tactical Endurance Synthetic Aperture Radar) -tutka, jolla on joka sään tunnistamiskyky sekä 30 cm:n resoluutio. MQ-1-versioon on asennettu GA-ASI Lynx SAR-tutka sekä MTS-A (Multispectral Targetin System) -sensorijärjestelmä, joka antaa reaaliaikaista kuvamateriaalia. Predator voi lentää niin maalinsoituslaserin, elektronisen tukilaitteiston kuin liikkuvien maalien tunnistusindikaattori MTI:n (Moving Target Indicator) kanssa. Predatorissa on myös UHF- ja VHF-viestiyhteydet sekä C- ja Ku-taajuden satelliittitietoyhteys. [13; 26, s. 62–63]

Predatorin RQ-1A- ja B- sekä MQ-1B- ja MQ-9-versioiden tekniset tiedot löytyvät taulukosta 2. Balkanin konfliktin taistelukokemusten perusteella Predator RQ-1A oli haavoittuvainen eri sääolosuhteille, kuten sateelle, lumelle, jälle, huurteelle sekä sumulle. Tämän perusteella General Atomics aloitti yhdessä Yhdysvaltain ilmavoimien kanssa Predatorin päivitysohjelman toukokuussa 1998. Paranneltu Predator RQ-1B varusteltiin tehokkaammalla turboahdetulla Rotax 914 -moottorilla sekä sen siipiin asennettiin jäänpoistojärjestelmä kylmissä sääolosuhteissa tehtäviä operaatioita varten. Rakenteellisissa mitoissa ei tapahtunut muutoksia verrattaessa A-versioon. Ensimmäinen RQ-1B Predator otettiin käyttöön huhtikuussa 2001. [26, s. 66]

Taulukko 2. Predatorin tekniset tiedot [9; 24, s.17, 23, 23; 26, s. 60–66, 94]

	RQ-1A	RQ-1B	MQ-1B	MQ-9
Pituus (m)	8,2	8,2	8,2	11
Siipien kärkiväli (m)	14,8	14,8	16,76	20
Polttoainekapasiteetti (kg)	77	77	301	1 814
Lentoonlähtöpaino (kg)	1 019	1 019	1 020	4 530
Moottori (hv)	105	105	115	700 (950)
Hyötykuorma (kg)	204	204	204	1 700
Aseistus	ei	ei	on	on
TV- ja lämpökamera	on	on	on	on
SAR-tutka	on	on	on	on
Laserosoitin	optio	on	on	on
MTI	ei	ei	optio	on
FLIR	ei	ei	ei	ei

RQ-1A/B Predatorin jälkeen kehiteltiin malli MQ-1B, joka pystyy suorittamaan ilmasta maahan hyökkäykset sekä maalien tunnistamisen. MQ-1B Predator -malli kehitettiin vuonna 2002, jossa suurimpana kehityksen kohteena RQ-1 A- ja B-versiosta voidaan pitää aseistuksen lisäämistä UAV:hen. Aseistuksen lisäksi Predatorin siipien kärkiväliä ja moottorin tehoa kasvatettiin sekä polttoainekapasiteettia suurennettiin. MQ-1B-version MTS-järjestelmä sisältää AGM-114 Hellfire -panssarintorjuntaohjusten ohjausjärjestelmä sekä lämpökameran, laserosoitimen ja laser-etäisyysmittarin. Yhdessä MTS-järjestelmän kanssa MQ-1B Predator voi kantaa kahta laser-ohjattua AGM-114 Hellfire -panssarintorjuntaohjusta. [8]

MQ-9 Predator -malli, joka tunnetaan nimellä Reaper, on edelleen kehitelty ja paranneltu versio RQ/MQ-1A/B-malleista. Siinä ovat tapahtuneet suurimmat muutokset Predatorin kehityksen kannalta. Sen ensimmäinen versio on varusteltu Honeywellin TP331-10T-potkuriturbiinimoottorilla, joka tuottaa akselilla 700 hevosvoimaa. Uusimmissa on jo käytössä Honeywellin TP331-10-potkuriturbiinimoottori, josta saadaan 950 hevosvoimaa. Verrattaessa MQ-9-versiota ensimmäiseen Predator RQ-1A:han on moottorin tehoa kasvatettu 845 hevosvoimaan, hyötykuorma noussut 1 496 kg sekä polttoainekapasiteetti lisääntynyt 1 737 kg ja lentoonlähdepaino kasvanut 3 511 kg. [9; 27, s. 153]

MQ-9-mallissa on päivitetty Lynx SAR -tutkajärjestelmä, jolla on 25 mm:n resoluutio ja joka kykenee tarkentamaan. Myös maalinpaikannuslaite MTS-järjestelmä päivitettiin Raytheon MTS-B-järjestelmällä, joka toimii pidemmällä matkoilla, kuin vanha MTS-järjestelmä. Aseistuksena MQ-9:ssä on AGM-114 II laser-ohjattu ilmasta maahan -ohjus sekä AGM-65 ilmasta maahan -ohjus. Yhdysvaltain ilmavoimat on tutkinut FIM-92 Stringer ilmasta ilmaan -ohjuksen käyttöä vuonna 2003 sekä GBU-38/B 500lb JDAM (Joint Direct Attack Munition) GPS -pohjaisen täsmäaseen lisäämistä vuonna 2005. Myös AIM-9 Sidewinder ja AIM-120 ilmasta ilmaan -ohjuksien käyttömahdollisuuksia on tutkittu. [9]

2.3 Taktisen tason Hunter RQ-5A-, MQ-5B/C- ja II-versiot

Hunter on Israelin IAI:n kehittämä lyhyen kantaman taktinen UAV, joka on myös aiemmin tunnettu nimellä JIMPACS (Joint Improved Multimission Payload Aerial Surveillance). Ensimmäinen lento UAV:llä suoritettiin Israelissa syyskuussa 1990 ja joulukuussa 1990 UAV toimitettiin Yhdysvaltoihin. IAI yhdessä Northon Grummanin kanssa testasi ja kehitti Hunter-systeemiä joulukuun 1990 ja maaliskuun 1992 välillä. [18]

Samalla, kun Hunter tuotiin Yhdysvaltoihin, alkoi kehittelykilpailu Hunterin ja McDonnell Douglas Sky Owl välillä maaliskuussa 1991. Testaukset päättyivät huhtikuussa 1992, johon sisältyi yksittäisiä ja yhteisiä lentoja yö- ja päiväolosuhteissa, sateessa, jäätävissä olosuhteissa, kovassa tuulella ja huonossa näkyvyydessä. Testaukset sisälsivät useita rakettiavusteisia lentoonlähdelaukauksia sekä lentoonlähettäjä päällystämättömältä kiitotieltä. Saman vuoden kesäkuussa Hunter julkistettiin taktisen UAV-kilpailun voittajaksi. Kilpailun jälkeen ensimmäinen tuotannosta tulleella Hunterilla lennettiin helmikuussa 1994. [18]

Hunter on rakenteeltaan korkeasiipinen yksitasokone, jossa on vankka kaksirunkoinen korkeusperäsin ja se on valmistettu vaikeasti havaittavasta komposiitista. Siinä on kaksi moottoria, joista vetävä moottori sijaitsee koneen etuosassa ja työntävä koneen takaosassa. UAV on varusteltu kiinteällä kolmipyöräisellä laskutelineellä ja se kykenee omatoimisesti rullaamaan lentoonlähtöön sekä laskuun. Ilma-aluksessa on myös optiona rakettiaivusteinen lentoonlähtö ja lasku voidaan suorittaa lentämällä pysäytyskaapeliin koneessa olevan sisäänvedettävän kaa- pelikoukun avulla. Kuvassa 3 MQ-5B Hunter on laskeutumassa. [18]



Kuva 3. MQ-5B Hunter [20]

Hunterin hyötykuormana on IAI:n Tamam MOSP (Multi-purpose Optical Stabilized Payload) -sensorijärjestelmä, joka sisältää TV- ja lämpökameran sekä FLIR-sensorin. Tarvittaessa sensoripaketti voidaan vaihtaa toisenlaiseen hyötykuormaan. Koneeseen on myös asennettu G- ja H-kaistaa käyttävä ilmakuljetteen tiedonsiirtojärjestelmä. [16, s. 22; 18]

Hunterin ohjausjärjestelmä sisältää kaksi IAI:n GCS-3000 maa-asemaa sekä tehtävän suunnitteluaseman, jossa on videoliittimet, pienikokoinen ohjausyksikkö ja mikroaalto datalinkki. Koko Hunter-järjestelmä sisältää kuudesta kahdeksaan ilma-alusta, kaksi liikuteltavaa datalinkki-asemaa, kahdesta kolmeen maa-asemaa, nousu- ja laskuterminaalit, suojat koneille sekä hyötykuorman. Lisäksi koko järjestelmään kuuluvat vielä yksi liikuteltava laukaisualusta, neljä video kauko-ohjaustermiinaalia, viisi voimanlähdeyksikköä, yksi 10 kW generaattori, yksi teholiitännäysyksikkö sekä maatumilaitteisto ja harjoituskalusto. [18]

Hunter RQ-5A-, MQ-5B-, MQ-5C- ja Hunter II-versioiden tekniset tiedot ovat taulukossa 3. RQ-5A on perusversio Hunter UAV:stä. Siinä on kaksi 57 hevosvoiman Moto Guzzi nelitahtimoottoria, joissa on kaksi sylinteriä sekä kaksi puista potkuria, joista toinen on vetävälle ja toinen työntävälle moottorille. [18]

Taulukko 3. Hunterin eri versioiden tekniset tiedot [18; 24, s. 20]

	RQ-5A	MQ-5B	MQ-5C	Hunter II
Pituus (m)	7,01	7,01	7,5	9,27
Siipien kärkiväli (m)	8,84	10,44	16,6	16,6
Polttoainekapasiteetti (kg)	190	317	ei tietoa	ei tietoa
Lento-ohjainpaine (kg)	726	885	998	1 496
Moottori (hv)	2x57	2x57, 2x56	ei tietoa	ei tietoa
Hyötykuorma (kg)	113	118	118	317
Aseistus	ei	on	on	on
TV- ja lämpökamera	on	on	on	on
SAR-tutka	testattu	testattu	optio	optio
Laserosoitin	ei	on	on	on
MTI	testattu	testattu	ei tietoa	ei tietoa
FLIR	on	on	on	on

RQ-5A Hunter -version seuraaja on MQ-5B. Uudemmassa Hunter versiossa on uusi avioniikka, turbodieselmoottori, automaattinen UCARS-laskeutumisjärjestelmä sekä WECW (Wet Extended Centre Wing). WECW:ssä keskisiiven pituutta on lisätty, minkä ansiosta siihen on saatu kyky kuljettaa polttoainetta sekä kaksi tukipilarikohtaa, joiden avulla Hunteriin on voitu lisätä ulkoista asekuormaa. Uuden avioniikan myötä Hunteriin päivitettiin tehtävätietokone, apuvoimalaitteiden jakeluyksikkö sekä asennettiin uusi INS ja GPS navigointiyksikkö ja APX-118 IFF transponderi. [18; 20]

Pituudeltaan MQ-5B on samanmittainen kuin RQ-5A, mutta siiven kärkiväliä on kasvatettu sekä lento-ohjainpaine on noussut 159 kg. Ensilentonsa MQ-5B lensi heinäkuussa 2005 ja vuonna 2009 UAV otettiin käyttöön Afganistanissa, jolloin siihen asennettiin taktinen viestiyhteyslinkki. [18]

MQ-5B:n jälkeen on tehty versiot MQ-5C, joka on E-Hunter sekä Hunter II. MQ-5C E-Hunterissa on sama Hunterin perusrunko sekä turbodieselmoottori. Siihen on asennettu pidempi laminaarivirtauksinen siipi ja korkeusperäsin sekä sisäänvedettävät pääpyörät. MQ-5C:hen voidaan asentaa SAR-tutka ja sen hyötykuormaa voidaan muuntaa. Pituutta on tullut lisää lähes 0,5 m sekä siiven kärkiväliä on kasvatettu 7,76 m sekä suurin lentoonlätö-paino on noussut 272 kg verrattaessa RQ-5A-versioon. Ensilentonsa se lensi maaliskuussa 2005. [18]

Hunter II puolestaan kehiteltiin vastaamaan Yhdysvaltojen armeijan strategisentason eli pitkänkantaman UAV:tä. Tämä ei kuinkaan toteutunut täysin ja Hunter II jäi keskipitkänmatkan UAV:ksi. Siinä on samalla tavalla kuin MQ-5C:ssä Hunterin runko ja turbodieselmoottori, mutta pidennetyt siivet ja peräsin. Sen hyötykuormaa voidaan helposti muuttaa ja UAV:ssä on viestinnän osajärjestelmä, jolla se kykenee jakamaan tietoa taistelukentällä. Pituutta Hunter II-versioon on tullut 2,26 m enemmän kuin RQ-5A-versioon sekä suurin lentoonlätöpaino on noussut 770 kg. [18]

2.4 Strategisen tason Global Hawk RQ-4A/B-versiot

Global Hawk on strategisen tason UAV. Sen on valmistanut Northrop Grumman, jonka tarkoituksena oli tuottaa ACTD-ohjelmalla viisi prototyyppiä Global Hawkista. Ensilento ensimmäisellä prototyypillä lennettiin helmikuussa 1998, joka kesti 56 min. Prototyyppien kehitystä hidasti toiselle tyypille sattunut onnettomuus. Maaliskuussa vuonna 1999 prototyyppi kaksi syöksyi maahan saadessa väärää ohjaustietoa toiselta lähellä olevalta UAV:ltä. Prototyypillä yksi lennettiin kuitenkin ensimmäinen meren yli lento syyskuussa 1999, joka kesti 24,8 tuntia. [19]

Vaikka tarkoituksena olikin valmistaa Global Hawkista viisi eri prototyyppiä, jatkettiin prototyyppien määrää vielä kahdella maaliskuussa 2001. Nämä kaksi prototyyppiä, jotka olivat järjestyksessään kuudes ja seitsemäs, kuuluivat Northrop Grummanin tekniikan ja valmistuksen kehitysohjelmaan. Parannuksena näihin kuudenteen ja seitsemänteen prototyyppiin päivitettiin radiot, moodilla S oleva transponderi, TCAS ja hätälähetin. Ensilento uusilla tyypeillä lennettiin huhtikuussa 2002. Näiden uusien prototyyppien kehitys- ja valmistusprosessi on oletettu kestävän vuoteen 2011 saakka. [19]

Global Hawk on rakenteeltaan pääasiassa alumiinia, mutta sen siivet ovat hiilikuitua. Sillä on todella suuri sivusuhte sekä noin viiden asteen nuolikulma. Siivissä on sisä- ja ulkosiivekkeet sekä siiven yläpuolella sisä- ja ulkoreunassa on spoilerit. Siinä on komposiitista valmistettu V-muotoinen korkeusperäsin, jossa on sisä- ja ulkoperäsimet. UAV:ssä on myös Honeywellin valmistama paineistettuosto hyötykuormalle ja avioniiikalle sekä sisäänvedettävä kolmipyöräinen laskuteline. Kuvassa 4 on lennolla oleva Yhdysvaltain Ilmavoimien Global Hawk. [19]



Kuva 4. Yhdysvaltain Ilmavoimien Global Hawk [11]

Global Hawkkin hyötykuormana on HISAR (Hughes Integrated Surveillance and Reconnaissance) -sensorijärjestelmä, johon sisältyvät SAR-tutka ja liikkuvien maalien MTI-järjestelmä sekä TV- ja lämpökamerat. Sensorijärjestelmä sisältää myös Kearfott KN-4071 digitaalisen GPS- ja INS-järjestelmän, joka on asennettu ensimmäiseen viiteen Global Hawk prototyyppiin. Kuudennessa ja seitsemännessä prototyyppissä tämä järjestelmä on korvattu Nortrop Grummarin LN-100G tai LN-211G laitteistolla. Sensoreiden tuottama tieto voidaan lähettää maa-asemalle satelliitin kautta. [19]

Global Hawkia ohjataan ja kontrolloidaan AN/MSQ-131 Global Hawk maa-asemalta. Maa-asema sisältää neljän henkilön RD-2A MCE (Mission Control Element) tehtävähallintaelementin ja kahden henkilön RD-2B laukaisu- ja laskuelementit. Jokainen maa-asema voi ohjata kolmea ilma-alusta samanaikaisesti. Lennon ja navigoinnin hallinta tapahtuu Curtiss-Wrightin integroidulla tehtävähallintatietokoneella IMMC:llä (Integrated Mission Management Computer) yhdessä suunnitteluohjelmiston sekä GPS:n ja INS:n kanssa. Global Hawk -järjestelmä sisältää kaksi ilma-alusta ja kaksi GHGS (Global Hawk Ground Station) maa-asemaa. [19]

RQ-4 Global Hawk kykenee lentämään korkealla ja kartoittamaan laajoja alueita erittäin tarkasti antaen reaaliaikaista kuvaa ja tietoa vihollisen sijainnista ja resursseista. UAV voi itsestään rullata, nousta ilmaan, lentää, kuvata kohteet, palata tukiasemaan ja laskeutua. Maa-asemat monitoroivat UAV-järjestelmän tilaa jatkuvasti ja voivat uudelleen ohjelmoida navigoinnin ja sensorit lennon aikana. [21]

Global Hawk RQ-4A- ja B-versioiden tekniset tiedot ovat taulukossa 4. RQ-4A Global Hawk on varusteltu Roll Royce AE 3007H -suihkuturbiinimoottorilla ja siinä on 10kVA sähkövoimakone. RQ-4A Global Hawkiin kuuluvat yhdeksän block 10 konetta, jotka on valmistettu prototyyppien jälkeen. [19]

Taulukko 4. RQ-4A ja B Global Hawk tekniset tiedot [19; 24, s. 19]

	RQ-4A	RQ-4B
Pituus (m)	13,51	14,5
Siipien kärkiväli (m)	35,41	39,9
Polttoainekapasiteetti (kg)	6 577	7 402
Lentoonlähtöpaino (kg)	12 111	14 628
Moottori (kN)	33,8	33,8
Hyötykuorma (kg)	907	1361
Aseistus	ei	ei
TV- ja lämpökamera	on	on
SAR-tutka	on	on
Laserosoitin	ei	ei
MTI	on	on
FLIR	ei	ei

RQ-4B on paranneltu versio Global Hawk RQ-4A:sta. Siihen kuuluvat block 20, 30 ja 40 koneet, jotka ovat käyneet läpi kolmenvaiheen päivitysohjelman. RQ-4B rakenteessa on pidennetty siipiä noin 4,5 m sekä loivennettu hieman nuolimuotoa. Runkoa on pidennetty noin metrin, syvennetty ja muotoiltu sipulimaiseksi. Sen korkeusperäsimen korkeutta ja pinta-alaa on kasvatettu sekä päälaskutelineitä on pidennetty ja raideväliä lisätty. Laskutelineisiin on myös asennettu erillinen pääpyörä, joka on sisään vedettävissä. [19]

Block 20 RQ-4B Global Hawkissa on paranneltu sensorijärjestelmä sekä 25 kVA sähkövoimakone, joka tuottaa 150 % enemmän virtaa, kuin RQ-4A:ssä oleva laitteisto. Tuotantoon se otettiin vuonna 2004 ja ensilento tapahtui maaliskuussa 2007. Block 30 RQ-4B Global Hawkisiin on suunniteltu hyötykuormaksi ASIP (Advance Signal Intelligence Payload) -signaalitiedustelupaketti, jota on jo testattu vuonna 2005 ja vuoden 2006 tammikuussa. Block 30 lensi ensimmäisen lentonsa omalla HBS PCU (high-band system production configuration unit) ASIP-komponentilla. HBS PCU -komponentti toimii ASIP-signaalitiedustelupaketin osajärjestelmänä, jolla on kyky havaita, paikantaa ja analysoida tutka- ja muita erikoisia signaaleja jopa 18 km:iin asti. Block 40 koneeseen on puolestaan suunniteltu MP-RTIP (Multi-Platform Radar Technology Insertion Program) -tutka. Vuoteen 2009 mennessä Global Hawk RQ-4B-versioita on valmistettu 22 kappaletta, jotka ovat menneet Yhdysvaltain Ilmavoimien käyttöön. [15; 19]

Global Hawkista on myös suunniteltu ja tekeillä tyypit RQ-4N sekä Euro Hawk. RQ-4N on Yhdysvaltain merivoimien BAMS (Broad Area Maritime Surveillance) -versio Global Hawkista. Ohjelmaan kuluu 68 ilma-alusta ja ensimmäisen RQ-4N version oletetaan lentävän ensilentonsa vuonna 2012. Järjestelmä otetaan operatiiviseen käyttöön vuonna 2016 ja kaikkien koneiden tulisi olla palveluskäytössä vuonna 2019. [7, s. 208]

Euro Hawk on puolestaan Saksan ja Naton valitsema Eurooppalainen versio Global Hawkista. Se on rakennettu EADS:n (European Aeronautic Defence and Space Company) ja Northrop Grummanin kanssa yhteistyönä. Ensimmäinen Euro Hawk valmistui syyskuussa 2009 ja se on määrä toimittaa Saksaan vuonna 2012. Siipien kärkiväli, pituus, suurin lentoonlähtöpaino sekä suurin hyötykuorma ovat samat kuin Global Hawkin RQ-4B-tyypissä. Euro Hawk on ensimmäinen kansainvälinen versio Global Hawkista. [7, s. 208]

2.5 Taktisen tason Shadow 200 RQ-7A/B-versiot sekä Shadow 400 ja 600

RQ-7 Shadow 200 on AAI:n valmistamia taktisen tason tiedustelu, tunnistus, valvonta ja tulenjohtoon käytetty miehittämätön ilma-alusjärjestelmä. UAV:n kehitys lähti käyntiin Pioneer UAV:n pohjalta 1990-luvulla. Ensilentonsa RQ-7 Shadow toteutti vuonna 1992 ja vuonna 1999 RQ-7A tilattiin tuotantoon Yhdysvaltain maavoimien pyynnöstä. Ennen RQ-7A valmistumista Shadow 200:sta oli tehty aiempi versio Shadow 200T, jossa oli T-mallinen korkeusperäsin. Tätä mallia ei kuitenkaan koskaan hyväksytty tuotantoon asti. [2; 12]

RQ-7 Shadow on rakenteeltaan pienikokoinen ja se on valmistettu 85 % komposiittista. Sen siivet on kiinnitetty ”olkapäiden” kohdalle ja siinä on kaksirunkoinen korkeusperäsin, jossa on kiinnitettynä väärinpäin oleva V-muotoinen korkeusperäsin. UAV:ssä on myös valinnaisesti irroitettava kolmipyöräinen laskuteline, jolla voidaan helpottaa kuljettamista. RQ-7 Shadow voi suorittaa lentoonlähdon itse rullaamalla tai hydraulisen katapultin avulla. Lasku tapahtuu normaalisti istumalla kolmipyöräiselle laskutelineelle tai vaijerilaskulla, jossa UAV lentää maassa olevaan vaijeriin ja pysähtyy koneen rungossa olevan vaijerikoukun avulla. Kuvassa 5 RQ-7 Shadow laukaistaan ilmaan katapultin avulla. [2]



Kuva 5. RQ-7 Shadown lentoonlähtö katapultin avulla [4]

Hyötykuormana siinä on IAI:n Tamam POP-200 -sensoripaketti, jossa on mukana TV- ja lämpökamera. RQ-7 Shadown hallinta tapahtuu IAI:n maa-asemalta kauko-ohjauksella tai etukäteen UAV:lle tehtävällä ohjelmoinnilla, joka perustuu Athena GuideStar GS-211e GPS-pohjaiseen autopilotti navigointiin. [2]

RQ-7 Shadow -järjestelmä koostuu neljästä ilma-aluksesta, kuudesta HMMWV (High Mobility Multi-purpose Wheeled Vehicles) -maastoajoneuvosta, kahdesta ajoneuvoilla liikkuvasta maa-asemasta, kahdesta kannettavasta maa-asemasta ja hydraulisesta katapulttilaukaisutraile-rista. UAV:iden ja laukaisutrailerin kuljettamiseen tarvitaan yksi HMMWV, maa-asemien kuljettamiseen niin kuin myös sotajoukkojen kuljettamiseen tarvitaan kaksi HMMWV:tä sekä tukevien varusteiden ja työvälineiden siirtämiseen tarvitaan puolestaan yksi HMMWV. [2]

Shadow 200 RQ-7A- ja B- sekä Shadow 400- ja 600 -versioiden tekniset tiedot ovat taulukossa 5. RQ-7A on ensimmäinen tuotantoon asti päässyt versio RQ-7 Shadow 200 miehittämättömästä ilma-aluksesta. Siinä on yksi 38 hevosvoimainen UEL AR 741 -polttomoottori ja kaksilapainen puinen kiintopotkuri. Polttoaineena se käyttää MOGAS (motor gasoline) -polttoainetta ja varsinainen tuotanto RQ-7A:lla alkoi vuonna 2002. [2]

Taulukko 5. Shadown eri versioiden tekniset tiedot [2; 22]

	Shadow 200 RQ-7A	Shadow 200 RQ-7B	Shadow 400	Shadow 600
Pituus (m)	3,4	3,4	3,82	4,8
Siipien kärkiväli (m)	3,89	4,29	5,15	6,83
Polttoainekapasiteetti (kg)	23,1	33,1	ei tieoa	ei tietoa
Lentoonlähtöpaino (kg)	154	170	211	265
Moottori (hv)	38	38	38	52
Hyötykuorma (kg)	25,3	25,3	ei tietoa	ei tietoa
Aseistus	ei	ei	ei	ei
TV- ja lämpökamera	on	on	on	on
SAR-tutka	ei	ei	ei tietoa	ei tietoa
Laserosoitin	ei	on	ei tietoa	ei tietoa
MTI	optio	optio	ei tietoa	ei tietoa
FLIR	on	on	ei tietoa	ei tietoa

Vuoden 2003 loppupuolella sattuneiden useiden häiriötapausten johdosta RQ-7A-versiota päivitettiin, jonka seurauksena syntyi RQ-7B. Päivityksien ansiosta UAV:n suorituskkyä ja luotettavuutta pystyttiin kasvattamaan. Suorituskkyä parannettiin päivittämällä kommunikointijärjestelmä, lisäämällä laserosoitin, suurentamalla siipiä, UGTD:lla (Universal Ground data Terminal), kaksisuuntainen RVT:llä (Remote Video Terminal) sekä TCDL:lla (Tactical Common Datalink). Luotettavuutta saatiin litium-ioni-akulla, elektronisella polttoaineen ruiskutuksella, paremmalla kylmänsään kestävyydellä sekä ilmailuun sopivammalla polttoainejärjestelmällä. RQ-7B-versioon asennettiin uusi POP-300-sensorijärjestelmä sekä sen pyrstöä laajennettiin. Pituudeltaan ja korkeudeltaan RQ-7B on samanlainen kuin RQ-7A. RQ-7B-version siipien kärkiväliä on kasvatettu 0,4 m sekä lentoonlähöpainoa nostettu 16 kg. Polttoainekapasiteettia on myös suurennettu 10 kg, mutta B-versiossa on sama moottori kuin A-versiossa. [25, s. 44–45]

RQ-7 Shadow 200 on ainoa versio, joka on käytössä Yhdysvaltain armeijalla. AAI on kuitenkin kehittänyt ja valmistanut versiot Shadow 400 ja 600, joita se on myynyt muun muassa Turkkiin ja Romaniaan. Shadow 400 on suunniteltu erityisesti laivastotoimintaan, sillä sen lentoonlähtö tapahtuu hydraulisesti laukaisemalla ja lasku verkkoon lentämällä. Shadow 400 siipienkärkiväliä ja pituutta on saatu kasvatettua hieman verrattaessa RQ-7A-versioon sekä lentoonlähöpaino on noussut 57 kg. Siihen on asennettu sama 38 hevosvoiman moottori, kuin Shadow 200:ssa. [22; 7, s. 212]

Shadow 600 on puolestaan hieman isompi, kuin Shadow 200 ja 400. Pituutta siihen on lisätty 1,4 m sekä siipienkärkiväliä kasvatettu 2,94 m:llä verrattaessa Shadown RQ-7A-versioon. Moottorina siinä on 52 hevosvoimainen Wankel-moottori. [22; 7, s. 212]

Parhailaan on menossa Marine Corps -ohjelma, jossa suunnitellaan suurempaa ja parempaa UAV:tä korvaamaan edelliset Shadow miehittämättömät ilma-alukset jo vuonna 2016. Tarkoituksena on saada UAV:iin aseenkantokky, suurempi lentonopeus ja hyötykuorma, kyky kantaa rahtia sekä nousta ja laskeutua vertikaalisesti. [7, s. 212]

3 TEKNISEN KEHITYKSEN VAIKUTUKSET SUORITUSKYKYYN

Tässä luvussa käsitellään, miten tekninen kehitys on vaikuttanut miehittämättömien ilma-alusten suorituskykyyn ja mitä etuja tästä on saatu. Suorituskykyä kuvaamaan on valittu kolme eri lentoarvoa, jotka ovat maksiminopeus, toimintakorkeus ja toiminta-aika. Kyseiset lentoarvot valittiin, koska ne kuvaavat hyvin koneiden suorituskykyä ja kertovat mahdollisen kehityksen UAV:iden suorituskyvyssä. Tarkastelun kohteena ovat Pioneer, Predator, Hunter, Global Hawk ja Shadow. Kaikista muista ilma-aluksista on verrattu kahden eri version lentoarvoja, paitsi Hunterissa. Tästä UAV:stä tarkasteluun on otettu neljän eri version lentoarvot, koska niiden välillä on tapahtunut selkeitä muutoksia.

Jokaisesta lentoarvosta on piirretty oma taulukko, johon on kerätty UAV:iden eri versioiden kyseiset arvot. Taulukoissa x-akselilla on jokaisen UAV:n eri versiot, jotka on valittu tarkastelun kohteeksi sekä y-akselilla tarkastelun kohteena oleva lentoarvo eli nopeus, korkeus tai aika. Jokaisen UAV:n eri versioiden omat lentoarvot on yhdistetty janalla, joka selkeyttää kuvaamaan eri UAV:iden lentoarvoissa tapahtunutta muutosta.

3.1 Maksiminopeus

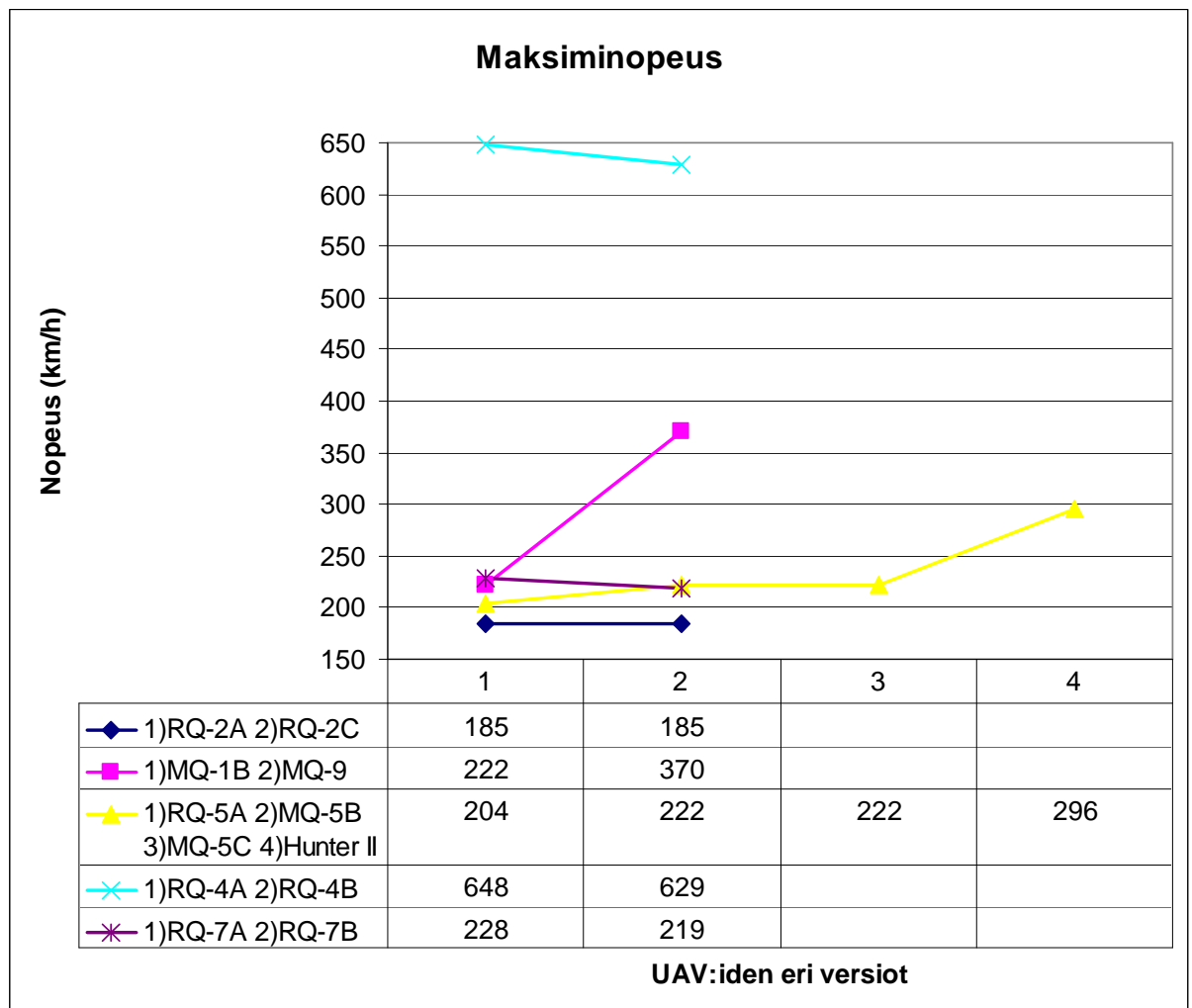
Nopeus saadaan yhtälöstä, jossa saatava teho jaetaan vastuksella. Ilma-aluksen nopeuteen vaikuttavat siis moottorista saatava teho sekä ilma-aluksen tuottama vastus, joka koostuu profiilivastuksesta sekä indusoidusta vastuksesta. Profiilivastuksen muodostavat ilma-aluksen muoto, runkomateriaali ja koneeseen mahdollisesti kiinnitetty ulkoinen materiaali. Indusoituvastus puolestaan koostuu ilma-aluksen nostovoimasta. Ilma-aluksen pienellä nopeudella indusoituvastus on merkittävämpi tekijä kuin profiilivastus, koska pienellä nopeudella ilma-alus tarvitsee enemmän nostovoimaa pysyäkseen ilmassa. Suurella nopeudella merkittävämpi on puolestaan profiilivastus, koska nostovoiman tarve vähenee. [6, s 16, 28–30, 38]

Teknisen kehityksen vaikutukset miehittämättömien ilma-alusten maksiminopeuteen on esitetty taulukossa 6. Predator ja Hunter ilma-aluksilla maksiminopeutta on kyetty lisäämään asentamalla UAV:iin tehokkaammat moottorit sekä pitämällä UAV:iden profiilivastus mahdollisimman pienenä, vaikkakin aseistaminen on lisännyt koneen profiilivastusta. Shadowlla ja Global Hawkilla maksiminopeus on jopa laskenut hieman ja Pioneerilla maksiminopeus on puolestaan pysynyt samana.

Predatorin ja Hunterin teknisen kehityksen tarkoituksena on ollut saada näistä UAV:istä ominaisuuksiltaan taisteluun kykeneviä miehittämättömiä ilma-aluksia. Tämän takia niihin on lisätty aseistus ja pyritty saavuttamaan lento-ominaisuuksiltaan juuri tähän tehtävään sopivaksi UAV:ksi. [13;18] Maksiminopeuden lisääntyminen onkin ollut keskeisessä roolissa juuri näillä kahdella UAV:llä. Niiden on kyettävä nopeaan liikehtelyyn taistelutehtävässä, jotta vihollinen ei ehdi reagoimaan hyökkäykseen ja tuhoamaan UAV:tä. Nopeuden lisääntymisen myötä näillä ilma-aluksilla kyetäänkin reagoimaan tilanteisiin nopeammin, yllättämään vihollinen paremmin ja suojautumaan hyökkäykseltä nopeasti.

Puolestaan Pioneer, Global Hawk ja Shadow ilma-alusten ollessa tiedusteluun ja valvontaan käytettäviä UAV:itä ei nopeuden kasvattamisella olisi ollut niin suurta merkitystä tehtävän suorittamisen kannalta. [1; 2; 19] Tämän takia näissä UAV:issä ei ole pyritty lisäämään maksiminopeutta teknisellä kehityksellä.

Taulukko 6. Miehittämättömien ilma-alusten maksiminopeus [1; 2; 13; 18; 19; 24, s. 16–23]

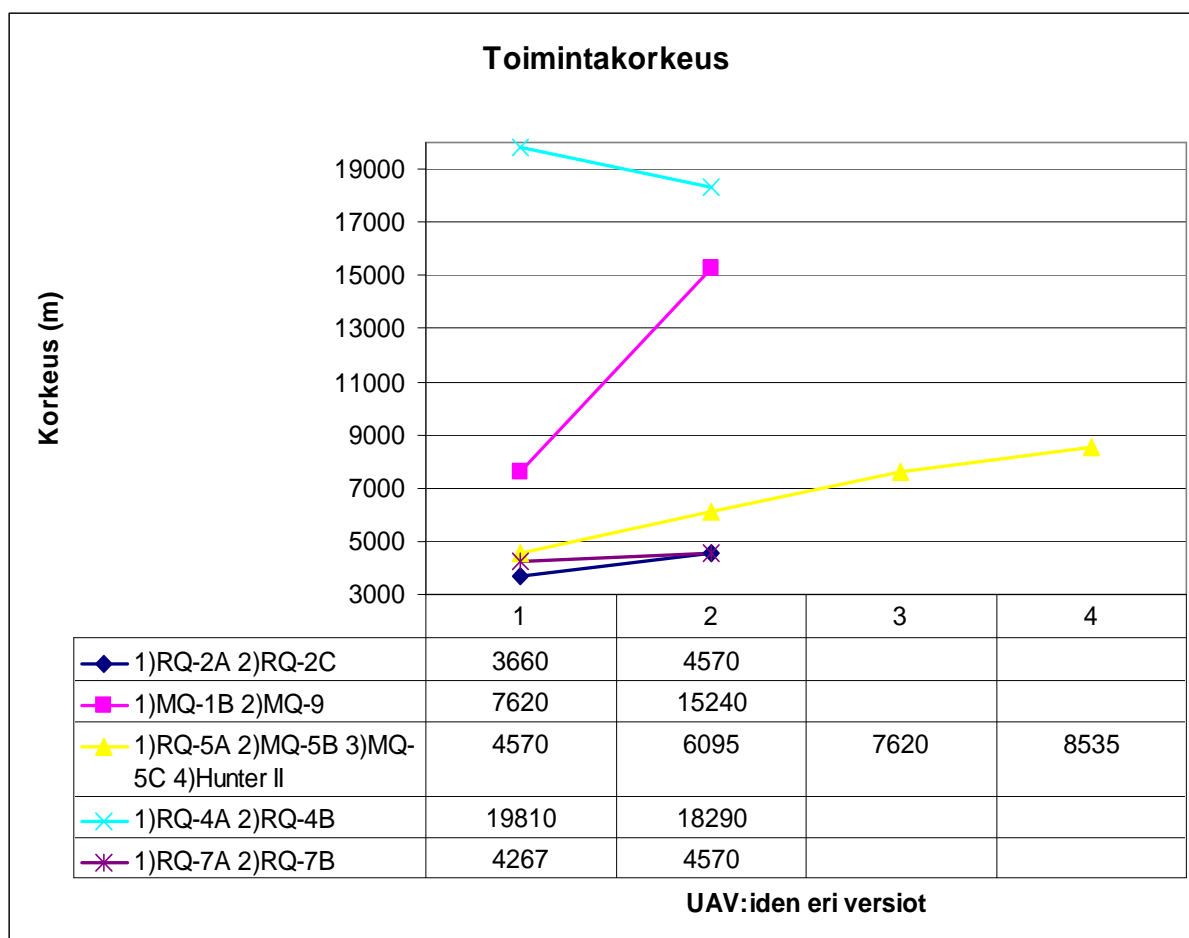


3.2 Toimintakorkeus

Toimintakorkeuden kasvaessa ilman lämpötila, -paine ja -tiheys laskevat. Tämän seurauksena myös ilmavastus pienenee korkeammalle mentäessä, jolloin tarvittava työntövoima on pienempi. Tarvittavan työntövoiman ollessa pienempi myös polttoaineen kulutus on alhaisempi. Korkeuden lisääntymisen haittana on moottorista saatavan työntövoima heikkeneminen. [5, s. 13, 16]

Miehittämättömien ilma-alusten toimintakorkeuden muutos teknisen kehityksen vaikutuksen takia on esitetty taulukossa 7. Lähes kaikilla koneilla, niin taisteluun, kuin tiedusteluunkin käytettävillä miehittämättömillä ilma-aluksilla on toimintakorkeutta kyetty kasvattamaan teknisten muutosten myötä. Global Hawk on ainut tarkastelun kohteena olleista koneista, jossa uudemman version toimintakorkeus on laskenut.

Taulukko 7. Miehittämättömien ilma-alusten toimintakorkeus [1; 2; 13; 18; 19; 24, s. 16–23]



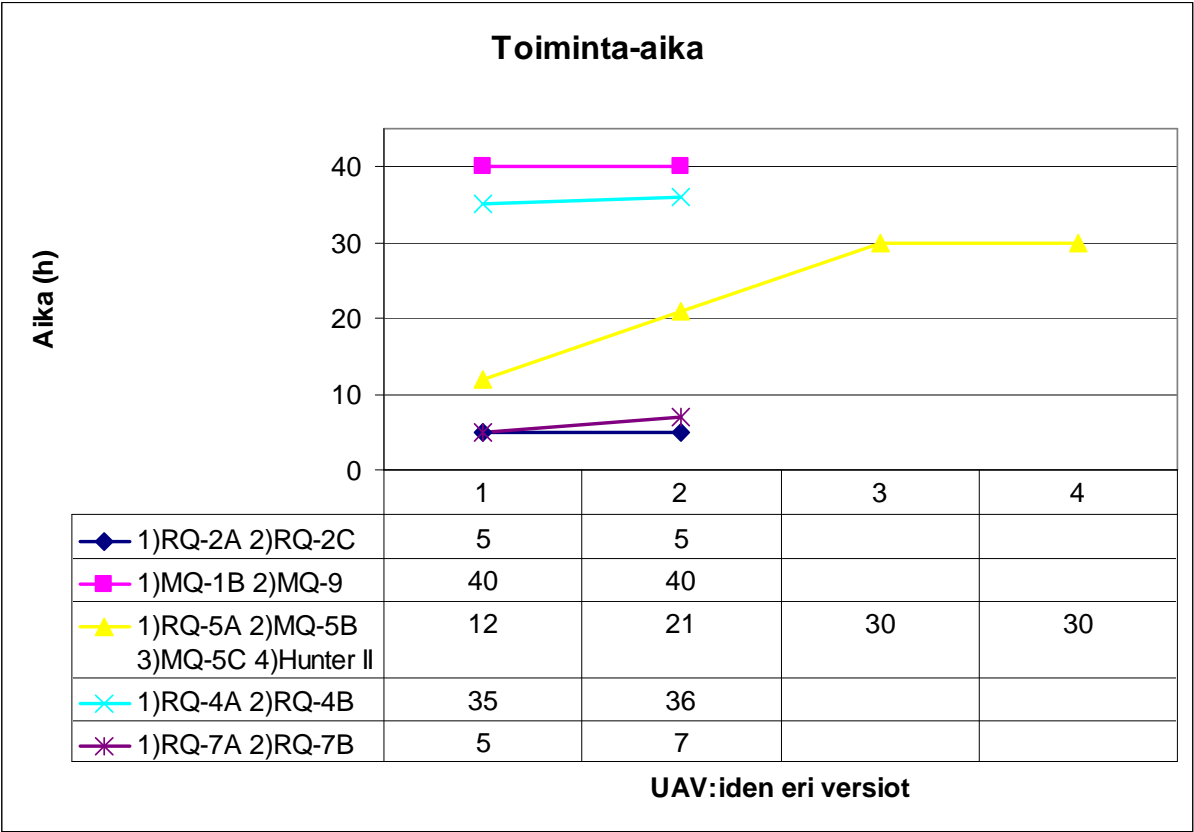
Toimintakorkeuden kasvaminen miehittämättömillä ilma-aluksilla on pienentänyt korkeudesta johtuvaa polttoaineen kulutusta, jonka ansiosta UAV:ihin on voitu tuoda lisää hyötykuormaa. Hyötykuorman lisääminen on kuitenkin kasvattanut koneen painosta johtuvaa polttoaineen kulutusta. Toimintakorkeuden kasvattamisella on myös pystytty suojautumaan paremmin viholliselta. Sen ansiosta vihollinen ei kykene havaitsemaan UAV:tä niin helposti ja nopeasti ja sen torjunta on vaikeampaa. Etenkin taisteluun tarkoitetuilla Predatorilla ja Hunterilla toimintakorkeuden lisääntymisen myötä niiden kyky yllättää vihollinen on kasvanut. Taistelutehtävässä voidaan lentää korkealla vihollisen alueelle ja laskeutua matalalle vasta kohteen läheisyydessä, jolloin vihollinen ei ehdi reagoimaan hyökkäykseen.

3.3 Toiminta-aika

Pyrittäessä lentämään mahdollisimman pitkä aika on kyettävä minimoimaan polttoaineen kulutus, jotta sitä riittäisi mahdollisimman pitkäksi aikaa. Tähän vaikuttavat muun muassa koneen vastus ja korkeus, jossa lennetään. Mahdollisimman pienellä vastuksella ja korkealla lennettäessä polttoaineen kulutus on vähäistä. Suihkukoneella lennettäessä mahdollisimman pitkään tulee pyrkiä lentämään minimivastuksen nopeudella, jolloin profiili- ja indusoituvastus ovat pienimmillään. Sen sijaan potkurikoneella lennettäessä mahdollisimman kauan on optimaalisinta lentää nopeudella, jossa tarvittava teho on pienin. [6, s. 55, 58]

Miehittämättömien ilma-alusten toiminta-ajan muuttuminen eri versioiden välillä on esitetty taulukossa 8. Taulukosta voidaan havaita, että teknisellä kehityksellä ei ole ollut merkittäviä muutoksia miehittämättömien ilma-alusten toiminta-aikaan. Tarkasteltavista UAV:istä Hunter on ainoa, jossa toiminta-ajassa on tapahtunut suuria muutoksia eri versioiden välillä.

Taulukko 8. Miehitämättömien ilma-alusten toiminta-aika [1; 2; 13; 18; 19; 24, s. 16–23]



Vaikka UAV:iden polttoainekapasiteettia ja toimintakorkeuksia on saatu kasvatettua teknisel-
lä kehityksellä, ei sillä ole ollut vaikutusta toiminta-ajan lisääntymiseen. Polttoaineen kulutus
on kasvanut lisääntyneen koneen painon takia, joka puolestaan johtuu kasvaneesta hyöty-
kuormasta. Tämän takia merkittäviä muutoksia ei ole saatu aikaan Pioneerin, Predatorin, Glo-
bal Hawkin ja Shadown toiminta-ajoissa.

Sen sijaan Hunterin toiminta-aika on kasvanut noin 10 tuntia verrattuna MQ-5B- ja
MQ-5C-versioiden välillä. Tämän ansioista Hunterilla voidaan partioida kauemmin ilmassa ja
suorittaa pidempiaikaisia tehtäviä. Tämän seurauksena ilma-alus on toimintavalmiimpi ja te-
hokkaampi eri operaatioissa.

3.4 Suorituskyvyn muutokset

Katsottaessa suorituskyvyn muutosta lentoarvoihin perustuen voidaan havaita, että suurimmat muutokset ovat tapahtuneet taisteluun tarkoitetuissa Predatorissa ja Hunterissa. Koska nämä UAV:t ovat tarkoitettu suorittamaan taistelutehtäviä ja kantamaan mukanaan aseistusta, niin ne tarvitsevat lento-ominaisuuksiltaan parempaa suorituskykyä, kuin tiedusteluun ja valvontaan tarkoitettut UAV:t. Taistelu UAV:iden tulee kyetä yllättämään ja harhauttamaan vihollinen sekä suojautua sen vastahyökkäykseltä. Maksiminopeuden ja toimintakorkeuden lisääntyminen onkin ollut tärkeää näille miehittämättömille ilma-aluksille.

Lentoarvojen perusteella suorituskyvyssä tapahtuneet muutokset taktisen tason tiedusteluun tarkoitetuilla Pioneerilla ja Shadowlla sekä strategisen tason tiedusteluun ja valvontaan tarkoitettulla Global Hawkilla ei ole ollut niin merkittäviä ja tarpeenmukaisia, kuin taisteluun tarkoitetuilla miehittämättömillä ilma-aluksilla. Teknisellä kehityksellä näissä UAV:issa onkin keskitytty enemmän niiden tehtävän mukaiseen toiminnan parantamiseen, joka on tiedustelu- ja valvontatiedon kerääminen ja välittäminen omaan taistelutukikohtaan. Toimintakorkeuden lisääntymisen myötä Pioneerilla ja Shadowlla pystytään valvomaan ja tiedustelemaan laajempia alueita kuin aiemmin, joka tukee niiden käyttötarkoitusta.

4 PÄÄTELMÄT

Tutkittaessa miehittämättömien ilma-alusten teknistä kehitystä 90-luvulta nykypäivään voidaan havaita, että suunnittelu ja kehitystyö ovat tuottaneet tulosta ja merkittäviä muutoksia on saatu aikaiseksi. Kaikkien muiden tarkastelun kohteena olleiden UAV:iden rakenteellista ko-koa on suurennettu lukuun ottamatta Pioneeria. Pioneerissa on kuitenkin parannettu rungon rakennusmateriaalia kestävämmäksi. Muissa UAV:issa koneen pituutta ja siipien kärkiväliä on kasvatettu sekä osassa UAV:istä myös peräosaa ja korkeusperäsintä on muokattu tarkoi-tuksen mukaisemmaksi. Global Hawkissa koko ulkomuotoa on muokattu enemmän aerody-naamisemmaksi.

Nämä rakenteelliset muutokset ovat parantaneet UAV:iden lento-ominaisuuksia ja suoritus-kykyä. Niiden ohjainpintojen tehokkuutta on saatu kasvatettua, joka puolestaan vaikuttaa pa-rantavasti niiden liikehtelemiskykyyn ilmassa. Oikealla runkomateriaalilla ja aerodynaamisel-la muodolla on myös vaikutus ilma-aluksen vastukseen ja lento-ominaisuuksiin eri korkeuk-silla. Rakenteellisten muutosten myötä on pystytty pienentämään UAV:iden vastusta, joka on vaikuttanut lentonopeuteen sekä lisäämään niiden toimintakorkeuksia. UAV:iden rakenteelli-sen koon kasvattamisella on myös pystytty lisäämään niiden kuljettaman hyötykuorman mää-rää.

Rakenteellisten muutosten ansiosta UAV:ihin on pystytty vaihtamaan uudemmat ja tehok-kaammat moottorit, lukuun ottamatta Global Hawkia sekä kasvattamaan polttoainesäiliöiden kapasiteettia. Näin ollen UAV:iden, etenkin aseistettujen Predatorin ja Hunterin lentonopeuk-sia on pystytty kasvattamaan sekä niihin tankattavan polttoaineen määrää on kyetty lisää-mään. Polttoaineen määrän kasvattamisella ei kuitenkaan ole ollut suurta merkitystä toiminta-ajan kannalta. Toiminta-aika on lisääntynyt ainoastaan Hunterissa. Siinä on myös muokattu laskutelinettä Global Hawkin ja Pioneerin kaltaiseksi, joihin on asennettu sisäänvedettävät pyörät.

UAV:iden rakenteellisten muutosten lisäksi tärkeä kehitys on tapahtunut niiden kuljettamassa hyötykuorman määrässä. Hyötykuormaa on pystytty kasvattamaan useissa UAV:istä ja niiden kuljettamia yksinkertaisia TV- ja lämpökameroita on vaihdettu ja korvattu uusilla kehittyneil-lä sensorijärjestelmillä. Sensorijärjestelmien kehittyminen onkin ollut tärkeässä roolissa UAV:illä, koska suurinta osaa niistä käytetään edelleen tiedustelu- ja valvontatehtäviin sekä maalinpaikannukseen. UAV:itä voidaan myös nykyään käyttää laserosoitimen ansiosta maa-linosoitukseen.

Hyötykuorman lisääminen ja uudenaikaiset sensorit ovat vaikuttaneet merkittävästi UAV:iden käytettävyyden lisääntymiseen ja nostanut niiden roolin merkittäväksi armeijan käytössä. Etenkin 2000-luvun alussa niiden rooli muuttui elintärkeäksi terrorismin vastaisessa sodassa. Uudet sensorit ja tiedonvälitysjärjestelmät ovat vaikuttaneet valvonta- ja tiedustelutietoihin, jotka välitetään maa-asemille. Valvonta- ja tiedustelutieto on yhä tarkempaa ja reaaliaikaisempaa. Kuvaaminen voidaan suorittaa yhä kauempaa joko yö- tai päiväolosuhteissa sekä huonoissakin sääolosuhteissa. Predatorissa ja Global Hawkissa tiedustelutiedon välittämiseen voidaan käyttää satelliitteja, jolloin tiedonvälitys onnistuu suurillakin etäisyyksillä ja on nopeaa sekä varmaa.

Rakenteellisten muutosten ansiosta merkittävänä kehityksenä UAV:issa sensorijärjestelmien lisäksi on ollut niiden aseistaminen. Aseistettuja UAV:itä, kuten Predatoria ja Hunteria voidaan käyttää ilmahyökkäyksissä ja vihollisen tuhoamisessa. Aseistaminen ei kuitenkaan ole vielä tehnyt suurta läpimurtoa ja niiden käyttäminen tositilanteissa on vielä vähäistä. Eri asejärjestelmien testaaminen ja kokeilu ovat vielä kehityksen alla. Tulevaisuuden näkymänä on, että UAV:issa kyetään käyttämään monipuolisempia eri käyttötarkoitukseen soveltuvia asejärjestelmiä.

Suurinta osaa miehittämättömistä ilma-aluksista operoidaan edelleen niiden maa-asemilta. Toimintaetäisyyttä on kuitenkin pystytty kasvattamaan liikuteltavien datalinkkien avulla. UAV:ihin kyetään myös etukäteen ohjelmoimaan lentotehtävä, jonka mukaan ne pystyvät itsenäisesti suorittamaan lennon, kuten Pioneer ja Global Hawk.

Suurimmat teknisen kehityksen kohteet UAV:issa ovat olleet rakenteellisten muutosten ansiosta uusien sensorijärjestelmien tuonti koneisiin sekä niiden aseistaminen. Tekninen kehitys jatkuu edelleen kovaa vauhtia UAV:issa, etenkin aseistamisen osalta. Niiden kyky korvata miehitetty ilma-alus on kasvanut suuresti ja tulevaisuudessa niitä pystytään käyttämään yhä monipuolisemmissa ja vaativammissa operaatioissa, joita aiemmin ainoastaan miehitetty ilma-alus on kyennyt suorittamaan.

LÄHTEET

- [1] *AAI/IAI RQ-2 Pioneer*. United States: Janes's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, 2012. Posted 5.2.2010 [viitattu 21.4.2012]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=++1317879&Pubabbrev=JUAV>
- [2] *AAI RQ-7 Shadow 200*. United States: Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, 2012. Posted 12.12.2011 [viitattu 23.4.2012]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=++1317988&Pubabbrev=JUAV>
- [3] Army-technology.com. *Predator RQ-1/MQ-1/MQ-9 UAV, United States of America* [viitattu 15.8.2012]. Saatavissa: <http://www.army-technology.com/projects/rq1-predator/rq1-predator4.html>
- [4] Army-technology.com. *Shadow 200 RQ-7 Tactical Unmanned Aircraft System, United States of America* [viitattu 16.8.2012]. Saatavissa: <http://www.army-technology.com/projects/shadow200uav/>
- [5] Bristol Ground School. *ATPL: Performance*. United Kingdom, 2010. 215 s.
- [6] Bristol Ground School. *ATPL: Principle of Flight*. United Kingdom, 2010. 224 s.
- [7] Friedman, N. *Unmanned Combat Air Systems: A New Kind of Carrier Aviation*. Annapolis: Naval Institute Press. 2010 269 s. ISBN 978-1-59114-285-0
- [8] Global Security. *MQ-1B Predator* [viitattu 18.4.2012]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/mq-1b.htm>
- [9] Global Security. *MQ-9 Reaper* [viitattu 18.4.2012]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/mq-9.htm>

[10] Global Security. *RQ-1 Predator MAE UAV* [viitattu 18.4.2012]. Saatavissa: <http://www.globalsecurity.org/intell/systems/predator.html>

[11] Global Security. *RQ-4A Global Hawk (Tier II + Hae UAV)* [viitattu 18.4.2012]. Saatavissa: http://www.globalsecurity.org/intell/systems/global_hawk-pics.htm

[12] Global Security. *RQ-7 Shadow 200 Tactical UAV* [viitattu 25.6.2012]. Saatavissa: <http://www.global security.org/intell/system/shadow.html>

[13] *GA-ASI MQ-1B and RQ-1A Predator*. United States: Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, 2012. Posted 15.3.2011 [viitattu 22.4.2012]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=++1317998&Pubabbrev=JUAV>

[14] Hakala, A., Kari, M., Pitkänen, M., Pääkkönen, E. *Sotatekninen arvio ja ennuste 2025 STAE 2025 osa 1 Teknologian kehitys*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2008. 564 s. ISBN 978-951-25-1888-3

[15] Jane's. *Airborne Signals Intelligence Payload (ASIP) (United States), Airborne signals intelligence (SIGINT), electronic support and threat warning system*. [Viitattu: 21.11.2012]. Saatavissa: <http://articles.janes.com/articles/Janes-Radar-and-Electronic-Warfare-Systems/Airborne-Signals-Intelligence-Payload-ASIP-United-States.html>

[16] Kananen, J. *Miehittämättömät ilma-alukset, niiden kehitys sekä käyttö viimeaikaisissa sodissa*. Pro Gradu. Maanpuolustuskorkeakoulu, 2007. 95 s.

[17] Lappalainen, E., Jormakka, J. *Tekniset tutkimusmenetelmät Maanpuolustuskorkeakoulussa*. Helsinki: Edita Prima Oy, 2004. 203 s. ISBN 951-25-1540-7

[18] *Northrop Grumman/IAI MQ-5 and RQ-5 Hunter*. United States: Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, 2012. Posted 10.9.2011 [viitattu 23.4.2012]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=++1317979&Pubabbrev=JUAV>

[19] *Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk*. United States: Jane's Unmanned Aerial Vehicles and Targets, 2012. Posted 21.6.2011 [viitattu 20.4.2012]. Saatavissa: <https://janes.ihs.com/CustomPages/Janes/DisplayPage.aspx?DocType=Reference&ItemId=++1318002&Pubabbrev=JUAV>

[20] NORTHROP GRUMMAN. *MQ-5B Hunter UAS*. [viitattu 19.4.2012]. Saatavissa: <http://www.as.northropgrumman.com/products/hunter/index.html>

[21] NORTHROP GRUMMAN. *RQ-4 Global Hawk*. [viitattu 10.5.2012]. Saatavissa: http://www.as.northropgrumman.com/products/ghrq4b/assets/HALE_Factsheet.pdf

[22] Oestergaard, J., K. *About the RQ-7 Shadow*. Aeroweb, 16.7.2012 [viitattu 7.8.2012]. Saatavissa: <http://www.bga-aeroweb.com/Defense/RQ-7-Shadow.html>

[23] Pross. *NAMRU-Dayton Leading the Way Unmanned Systems Human Factors Research*. Navy Medicine Live. 8.2.2012 [Viitattu 15.8.2012]. Saatavissa: <http://navymedicine.navylive.dodlive.mil/archives/1784>

[24] United States Department of Defence. *Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005-2030*. Department of Defence: 2005. 213 s.

[25] United States Department of Defence. *U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010-2035: Eyes of the Army*. Fort Rucker, Alabama Yhdysvallat: 2010. 126 s.

[26] Yenne, B. *Attack of the Drones: A History of Unmanned Aerial Combat*. St. Paul. Zenith Press. 2004. 128 s. ISBN 0-7603-1825-5

[27] Yenne, B. *Bird of Prey: Predators, Reapers and American's Newest UAVs in Combat*. North Branch: Specialtypress. 2010. 160 s. ISBN 978-1-58007-153-6

LIITTEET

Liiteluettelo

Liite 1 Tutkimuksen lyhenteet

TUTKIMUKSEN LYHENTEET

AAI	(Yhdysvaltalainen yhtiö, joka toimii ilmailu- ja puolustusalan kehittäjänä)
ACTD	Advanced Concept Technology Demonstration (Yhdysvaltojen perustama sotilaallisen teknologian kehittämisohjelma)
ASIP	Advance Signal Intelligence Payload (Signaalitiedustelu hyötykuorma)
BAMS	Broad Area Maritime Surveillance (Laajan merialueen valvonta)
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company (Eurooppalainen ilmailu-, avaruus- ja puolustusvälineiteollisuuden yhtiö)
FLIR	Forward Looking Infrared (Eteenpäin katsova lämpökamera)
GHGS	Global Hawk Ground Station (Global Hawkin maa-asema)
GPS	Global Position system (Maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä)
HBS PCU	High-band System Production Configuration Unit (Tutkataajuudella toimiva signaalitiedustelun alajärjestelmä)
HISAR	Hughes Integrated Surveillance and Reconnaissance (Sensorijärjestelmä johon on yhdistetty valvonta ja tunnistaminen)
HMMWV	High Mobility Multi-purpose Wheeled Vehicles (Hyvän liikkuvuuden omaava monikäyttöinen maastoajoneuvo)
IAI	Israel Aircraft Industries (Sotilaallisen ja kaupallisen lentokoneteknologian kehittäjä)
IMMC	Integrated Mission Management Computer (Integroitu tehtävänhallinta tietokone)
JDAM	Joint Direct Attack Munition (GPS -ohjattava ammus)
JIMPACS	Joint Improved Multimission Payload Aerial Surveillance (RQ-5 Hunter -järjestelmän aikaisempi nimi)
MCE	Mission Control Element (Tehtävänhallintaelementti)

MOSP	Multi-purpose Optical Stabilized Payload (UAV:ihin suunniteltu monikäyttöinen sensorijärjestelmä)
MP-RTIP	Multi-Platform Radar Technology Insertion Program (Monikäyttötasoinen tutkajärjestelmä)
MTI	Moving Target Indicator (Liikkuvan maalin ilmaisin)
MTS	Multispectral Targetin System (Monispektrinen tähtäysjärjestelmä)
POP	Plug-In Optronical Payload (Helposti kytkettävä optroninen hyötykuorma)
RVT	Remote Video Terminal (Etänäyttöpääte)
SAR	Synthetic Aperture Radar (Synteettisen aukon tutka)
TCAS	Traffic Collision/Avoidance System (Yhteentörmäysvaarasta varoittava järjestelmä)
TCDL	Tactical Common Datalink (Taktinen Datalinkki)
TESAR	Tactical Endurance Synthetic Aperture Radar (Taktinen pitkän toiminta-ajan synteettisen aukon tutka)
UAV	Unmanned Aerial Vehicle (Miehittämätön ilma-alus)
UCARS	UAV Common Automatic Recovery System (Miehittämättömän ilma-aluksen automaattinen laskeutumisjärjestelmä)
UGTD	Universal Ground Data Terminal (Tiedonsiirtoterminaali)
WECW	Wet Extended Centre Wing (Polttoainetta kuljettava siipi)

